

Lignocelluloser Leichtbeton

Lignocellulose lightweight concrete

Projektleiter:
Project leader:
Martin Direske

Projektbearbeiter:
In-charge:
Martin Direske

Projektpartner:
Project partners:
HeidelbergMaterials,

Betonwerk Schuster,
HessenLeinen GmbH,
Institut für Baustoffe
(TU Dresden)

Fördermittelgeber:
Co-funded by:
BMWK

Projekträger:
Project management:
EURONORM GmbH

Förderprogramm:
Funding programme:
INNO-KOM

Förderkennzeichen:
Funding code:
49MF200144

Laufzeit:
Term:
01.04.2021 – 31.10.2023

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Gegenstand des FuE-Vorhabens war die Entwicklung eines Baustoffs mit leicht- bzw. porenbetonähnlichen Wärmedämm- und Festigkeitseigenschaften auf Basis von Rohstoffen mit möglichst niedrigem Fußabdruck an CO₂-Emissionen.

Die Matrix des neuen Baustoffs bildet Calciumsulfoaluminatzement (CSA-Zement), der im Vergleich zum Portlandzement (OPC) eine erheblich kohlenstoffärmere Alternative darstellt. Die Herstellung von OPC-Klinker ist für etwa 5 bis 8 % der jährlichen weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich. Aufgrund der im Vergleich zu OPC-Klinker um ca. 200°C geringeren Brenntemperatur wird bei der Herstellung von CSA-Klinker bis zu 30 % weniger CO₂ freigesetzt. CSA-Zement ist außerdem durch einen geringeren pH-Wert (10,5...11) im Vgl. zu OPC (über 12), ein schnelles Ansteifen, Erstarren und Erhärten, hohe Früh- und Endfestigkeit sowie ein geringes Schwindmaß gekennzeichnet. Diese Eigenschaften des CSA-Zements erwiesen sich als vorteilhaft in der Kombination mit Lignocellulosen. Die geringere Alkalität verringerte die Menge löslicher hydratationsinhibierender Substanzen. Positive Effekte ergeben sich weiterhin auf das Quellverhalten der porösen Lignocellulosen. Schließlich verkürzt die beschleunigte Aushärtung auch die Einwirkungsdauer der Zementinhibitoren auf die Zementmatrix. Auf eine externe Temperaturzufuhr oder

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

The subject of the R&D project was to develop a building material with thermal insulation and strength properties similar to those of lightweight or porous concrete, based on raw materials with the lowest possible carbon footprint in terms of CO₂ emissions.

The matrix of the new building material is calcium sulfoaluminate cement (CSA cement), which, compared to ordinary portland cement (OPC), is a considerably lower-carbon alternative. The production of OPC clinker is responsible for about 5 to 8 % of annual global CO₂ emissions. Due to the firing temperature being approx. 200°C lower than for OPC clinker, up to 30 % less CO₂ is released during the production of CSA clinker. CSA cement is also characterised by a lower pH (10.5...11) compared to OPC (over 12), rapid stiffening, setting and hardening, high early and final strength and low shrinkage. These properties of CSA cement proved to be advantageous in combination with lignocelluloses. The lower alkalinity reduced the amount of soluble hydration-inhibiting substances. Positive effects also arise from the swelling behaviour of the porous lignocelluloses. Finally, the accelerated hardening also shortens the duration of the cement inhibitors' effect on the cement matrix. It was possible to dispense with an external temperature supply or chemical additives to accelerate hydration. The low shrinkage of the hardening binder in

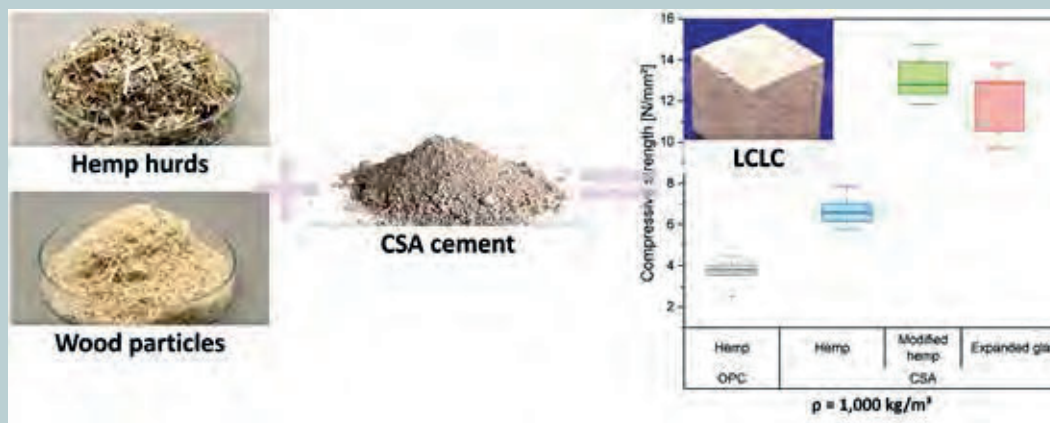


Abb. 1: Kombination aus Lignocellulosen (u.a Hanfschäben und Holzspäne) und CSA-Zement zu Lignocellulosem-Leichtbeton (LCLB) mit vergleichbarer Druckfestigkeit wie herkömmlicher Leichtbeton

Fig. 1: Combining lignocelluloses (e.g., hemp hurds and wood particles) with CSA cement to make lignocellulosic lightweight concrete (LCLC) of a compressive strength comparable to conventional lightweight concrete

chemische Zusätze zur beschleunigten Hydratation konnte verzichtet werden. Die geringe Schwindung des erhärtenden Bindemittels fördert wiederum den Verbund zwischen Matrix und Zuschlag.

VORGEHENSWEISE

Die genutzten lignocellulosen Leichtzuschläge fallen in der Holzindustrie (Sägewerksnebenprodukte) bzw. der Bastfaserindustrie (Schäben) als Sekundär- bzw. Reststoffe an und werden entweder stofflich weiterverarbeitet oder energetisch genutzt. In jedem Fall werden die Rohstoffe nicht ihrer größtmöglichen Wertschöpfung zugeführt. Da sich die untersuchten Lignocellulosen in ihrer chemischen Zusammensetzung, Anatomie und Morphologie und den daraus resultierenden Eigenschaften unterscheiden, wurde die Ausprägung der Matrixeigenschaften unterschiedlich beeinflusst. Aufgrund der sehr geringen Dichte (ca. 100 kg/m³) bieten sich Schäben v. a. zur Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften an. Holzpartikel dienen hingegen als eine Art Kurzfaserbewehrung, die die Zugfestigkeit positiv beeinflussen. Die Partikelgröße und -form beeinflussten die Formulierung und Eigenschaften des Verbundbaustoffs. Mit einer Abnahme der Partikelgröße erhöht sich

turn promotes the bond between the matrix and the aggregates.

APPROACH

The lignocellulosic lightweight aggregates used are produced as secondary or residual materials in the wood industry (sawmill by-products) or the bast fibre industry (hurds) and are either processed further or used for energy. In any case, the raw materials are not used to their greatest possible added value. Since the lignocelluloses examined differ in their chemical composition, anatomy and morphology and the resulting properties, the characteristics of the matrix properties were influenced differently. Due to their very low density (approx. 100 kg/m³), hurds are particularly suitable for improving thermal insulation properties. By contrast, wood particles serve as a kind of short-fibre reinforcement that positively influences tensile strength. Particle size and shape influenced the formulation and properties of the composite building material. As particle size decreases, their specific surface area increases. With the same particle volume in relation to the matrix, the potential for complete coating with the binder decreases with decreasing particle size. This had to be taken into account when

deren spezifische Oberfläche. Bei gleichem Partikelvolumenanteil im Verhältnis zur Matrix sinkt mit abnehmender Partikelgröße das Potential der vollständigen Ummantelung mit dem Bindemittel. Bei der Formulierung der Rezeptur musste dies Beachtung finden, da ansonsten unerwünschte Grenzflächen zwischen Zuschlag und Zuschlag sowie zwischen Zuschlag und Luft entstehen. Leichtzuschläge verändern aufgrund ihrer porösen Struktur den Wasserhaushalt der Zementmischung. Werden die Zuschläge trocken beigemischt, entziehen sie dem Gemisch das für die Zementhydratation notwendige Wasser und verhindern eine Einlagerung von Hydratwasser in die festigkeitsgebenden Mineralphasen. Insbesondere bei Verwendung der stark hygroskopischen Schäben musste der Wasser-Zement-Wert entsprechend angepasst werden. Mit Hilfe der chemischen Modifikation der Lignocellulosen konnte die Inhibierung der Zementhydratation durch alkalisch lösliche Inhaltsstoffe weitestgehend unterbunden werden, was zu einer weiteren Steigerung der Festigkeit beitrug.

formulating the recipe, as otherwise unwanted interfaces would arise between aggregate and aggregate as well as between aggregate and air. Due to their porous structure, lightweight aggregates change the water balance of the cement mixture. If the aggregates are dry-blended, they remove the water necessary for cement hydration from the mixture and prevent the storage of hydration water in the strengthening mineral phases. In particular, when using the highly hygroscopic hurds, the water-cement ratio had to be adjusted accordingly. With the help of the chemical modification of the lignocelluloses, the inhibition of cement hydration by alkaline soluble components could be largely prevented, which contributed to a further increase in strength.

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass mit den entwickelten Rezepturen Leichtbeton mit einer Rohdichte von unter 1.000 kg/m^3 (DIN 1045 bzw. DIN EN 206-1: $800 \dots 2.000 \text{ kg/m}^3$) hergestellt werden kann, der sich konkurrenzfähig zu bestehenden Systemen zeigt und darüber hinaus Festigkeitseigenschaften erzielt, die bisherige Kombinationen aus Lignocellulosen und Zement nicht zuließen. Die Vorteile von LCLB sind v. a. im Rohdichtebereich von $900 \dots 1.100 \text{ kg/m}^3$ zu verorten. Hier können höhere oder zumindest vergleichbare Festigkeitswerte - insbesondere nach chemischer Modifikation der Lignocellulosen - erzielt werden. Die Wärmeleitfähigkeit wurde im Projekt an industriell hergestellten LCLB-Steinen ermittelt. Es wurden zwei Varianten mit einer Rohdichte von 800 und 1.000 kg/m^3 untersucht. Die thermische Isolationswirkung liegt mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,20$ bzw. $0,32 \text{ W/(mK)}$ unterhalb derer, die gemäß DIN 4108 Teil 4 zu erwarten war ($0,40 \text{ W/mK}$).

AUSBLICK

Die Entwicklung von CSA-Klinkern kann nur als Brückentechnologie angesehen werden. Der Preisunterschied zwischen OPC und CSA-Zement liegt aufgrund der hohen Aluminiumgehalte bei ca. 30%. Jüngste Entwicklungen der Zementindustrie konzentrieren sich auf „Belite-Ye'elimite-Ferrit“-Klinker, mit dem OPC-Klinker vollständig ersetzt werden sollen. Bei der Entwicklung neuer Hybridbaustoffe aus Lignocellulosen und Zement wird man sich zukünftig mit dieser neuen Bindemittelgeneration auseinandersetzen müssen.

RESULTS

The results of the project show that the developed formulations can be used to produce lightweight concrete with a bulk density of less than $1,000 \text{ kg/m}^3$ (DIN 1045 or DIN EN 206-1: $800 \dots 2,000 \text{ kg/m}^3$), which is competitive with existing systems and, in addition, achieves strength properties which previous combinations of lignocellulose and cement did not allow. The advantages of lignocellulose lightweight concrete (LCLC) are particularly evident in the bulk density range of $900 \dots 1,100 \text{ kg/m}^3$. Here, higher or at least comparable strength values can be achieved, especially after chemical modification of the lignocellulose. The thermal conductivity was determined in the project using industrially produced LCLC blocks. Two variants with a bulk density of 800 and $1,000 \text{ kg/m}^3$ were investigated. With a thermal conductivity of 0.20 and 0.32 W/(mK) respectively, the thermal insulation effect is below that which was to be expected according to DIN 4108 Part 4 (0.40 W/mK).

OUTLOOK

The development of CSA clinker can only be seen as a bridging technology. The price difference between OPC and CSA cement is around 30% due to the high aluminium content. Recent developments in the cement industry have focused on the 'Belite-Ye'elimite-Ferrite' clinker, which is intended to replace OPC clinker completely. In the future, this new generation of binders will have to be considered when developing new hybrid building materials made of lignocellulose and cement.